ГУАП

Кафедра № 3

Отчет

Защищен с оценкой

Хор

Преподаватель

доцент к.ф.н.	28.03.2018	Холодилов А.Н.
должность, уч. степень, звание	подпись, дата	инициалы, фамилия

Отчет о лабораторной работе № 5

Исследование гистерезиса ферромагнитных материалов

по курсу: физика

Работу выполнил

студент гр. № 3612кс	28.03.18	Евдокимова В.В.
	подпись, дата	инициалы, фамилия

Санкт-Петербург 2018

Протокол

Лабораторная работа №5

Исследование гистерезиса ферромагнитных материалов.

Студентка гр. 3612кс Егоршкова В.В.

Преподаватель Холодилов А.И.

28.02.2018

Параметры установки.

Прибор.	Тип	Класс точности	Предел измерений	Цена деления	Системная погрешность.
Генератор	Г3-118	–	100 кГц	10 Гц	10 Гц
Осциллограф	ОСУ-10В.		25 В	0,5 В/дел	[illegible]

Результаты измерений.

№ петли	x, мм	y, мм
1	0	0
2	10	0,9
3	20	1,7
4	30	2.4
5	40	2.6

Цель работы.

Построить основную кривую намагничивания, определить работу перемагничивания и коэрцитивную силу.

Описание лабораторной установки.

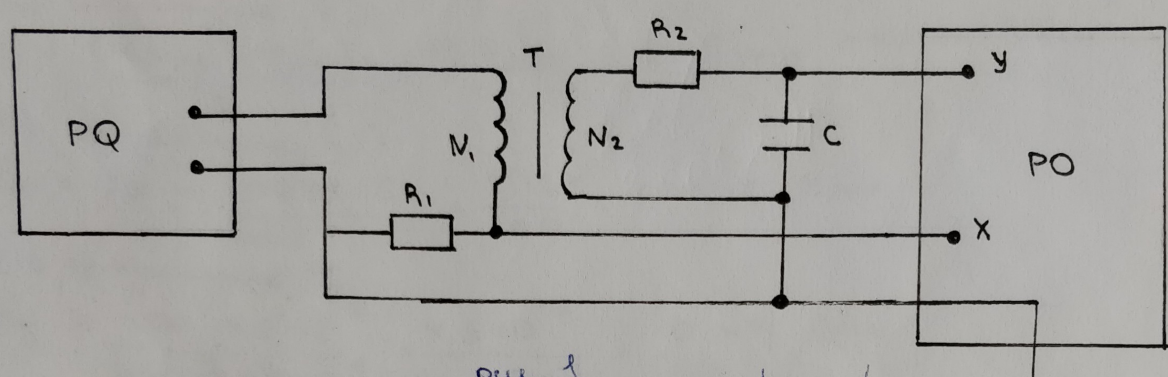


рис. 1

На рисунке 1 изображена схема лабораторной установки, где PQ - звуковой генератор, PO - электронный осциллограф, T - тороидальный трансформатор.

$N_1 = 100$ витков;
$N_2 = 100$ витков;
$r_1 = 4,5$ мм;
$r_2 = 9$ мм;
$b = 10$ мм;
$R_1 = 51$ Ом;
$R_2 = 4,3$ кОм;
$C = 0,224$ мкФ.

Результаты измерений

№ петли	X, мм	Y, мм
1	0	0
2	10	0,9
3	20	1,7
4	30	2,4
5	40	2,6

таблица 1

Рабочие формулы:

$S_2 = (r_2 - r_1) b$, (1)

$r_T = \frac{(r_1 + r_2)}{2}$, (2)

$k_x = \frac{2\pi r_T R_1}{N_1}$, (3)

$k_y = \frac{N_2 S_2}{R_2 C}$, (4)

$H = \frac{N_1 k_x x}{2\pi r_T R_1}$, (5)

$H = \frac{100 \cdot 0,5}{2\pi \cdot 0,007 \cdot 51} x$ (1000)

$H = 23 \cdot x$

$B = \frac{R_2 C k_y \cdot y}{N_2 S_2}$, (6). $U_x = k_x \cdot x$ (7) $U_y = k_y \cdot y$ (8)

Примеры вычислений.

По формуле 1:

$S_2 = (9 мм - 4,5 мм) \cdot 10 мм = 45 мм^2 = 4,5 \cdot 10^{-5} м^2$

По формуле 2:

$r_T = \frac{(4,5 мм + 9 мм)}{2} = \frac{13,5 мм}{2} = 6,75 мм = 0,00675 м.$

По формуле 3:

$k_x = \frac{251 \cdot 0,00675 \cdot 51}{100} = \frac{2.16}{100} = 0,0216$ В/м.

По формуле 4:

$k_y = \frac{-100 \cdot 4,5 \cdot 10^{-5}}{43 \cdot 10^{3} \cdot 2,24 \cdot 10^{-7}} = \frac{4,5 \cdot 10^{-3}}{96,32 \cdot 10^{-4}} = 0,47$ В/м.

По формуле 5:

$H_2 = \frac{100 \cdot 0,0216 \cdot 10}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,0675 \cdot 51} = \frac{21,6}{21,6} = 1$ А/м

$H_1 = 0$ А/м

$H_3 = 2$ А/м

$H_4 = 3$ А/м

$H_5 = 4$ А/м

По формуле 6:

$B_2 = \frac{4300 \cdot 2,24 \cdot 10^{-7} \cdot 0.47 \cdot 0.9}{100 \cdot 4,5 \cdot 10^{-5}} = \frac{40.74 \cdot 10^{-5}}{4,5 \cdot 10^{-3}} = 9,05 \cdot 10^{-2} = 0,09$ Тл

$B_1 = 0$ Тл

$B_3 = 0,17$ Тл

$B_4 = 0,24$ Тл

$B_5 = 0,26$ Тл

По формулам 7 и 8 находим U_x и U_y для каждой петли:

$U_{x1} = 0$

$U_{y1} = 0$

$U_{x2} = 0.216$

$U_{y2} = 0.423$

$U_{x3} = 0.432$

$U_{y3} = 0,799$

$U_{x4} = 0.648$

$U_{x4} = 1,128$

$U_{x5} = 0,864$

$U_{y5} = 1,222$

Все результаты занесены в таблицу 2.

$K_{x,y} = 0{,}5 \frac{В}{дел}$.

№ петли	x, мм	y, мм	U_x, В	U_y, В	H, А/м	B, Тл
1	0	0	0	0	0	0
2	1,0	0,9	0,216	0,423	1	0,09
3	2,0	1,7	0,432	0,799	2	0,17
4	3,0	2,4	0,648	1,128	3	0,24
5	4,0	2,6	0,864	1,222	4	0,26

таблица 2

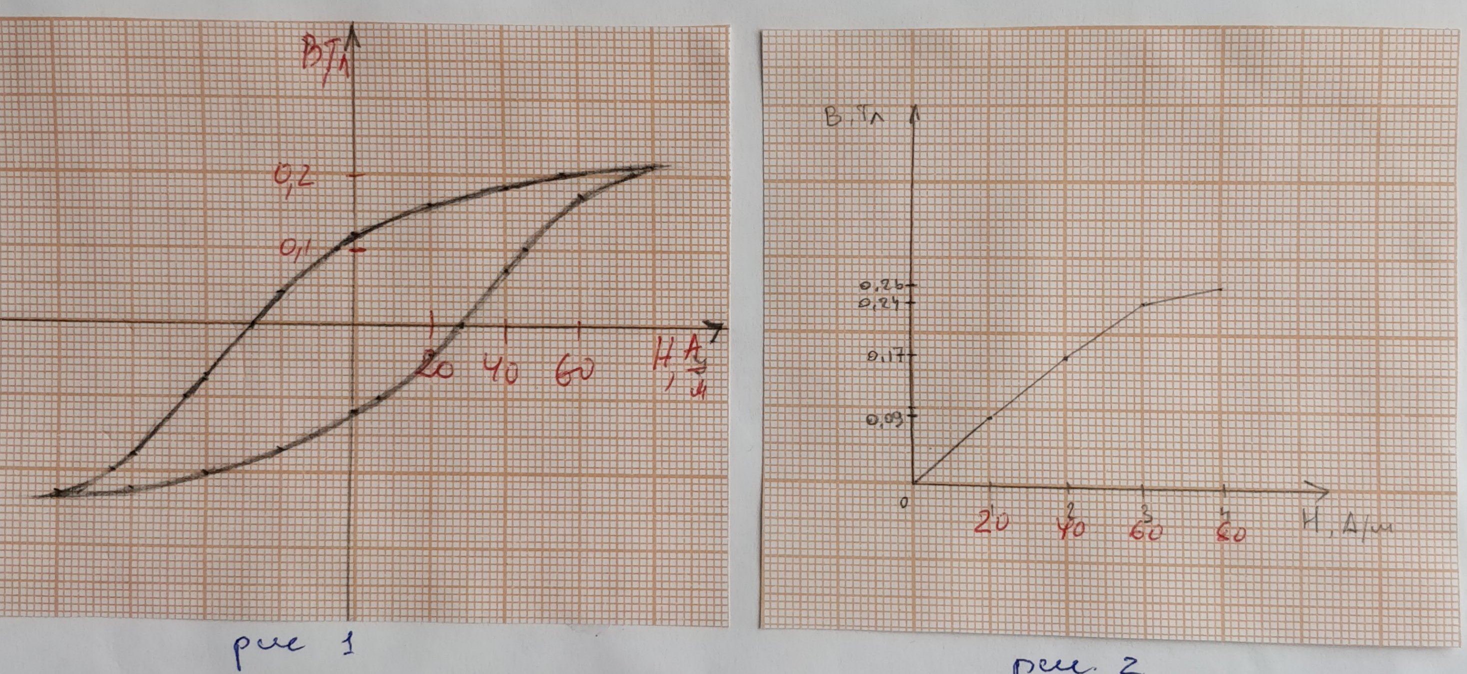


рис 1

рис. 2

На рисунке 1 изображена петля гистерезиса, на рисунке 2 – зависимость напряженности от магнитной индукции.

Выводы.

В ходе лабораторной работы была определена работа перемагничивания и коэрцитивная сила, а также построена основная кривая намагничивания.

□ → 2 $\frac{Дж}{м^3}$.

14 $\frac{Дж}{м^3}$ за 1 цикл.

за 0,02 с

700 $\frac{Вт}{м^3}$



ОТВЕТЫ --->>СКАЧАТЬ https://archive.org/details/@guap4736_vkclub152685050

Имя

- Индивидуальное задание
- ЛР исследование гистерезиса ферромагнитных материалов
- ЛР определение горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля зе...
- ЛР определение удельного заряда электрона
- ЛР определение электроемкости конденсатора
- ЛР процессы установления тока при разрядке и зарядке конденсаторов
- Методички
- тест LMS 1
- Экзамен
- Бипризма Френеля 1
- Кольца Ньютона 1
- КОНТАКТЫ
- Литвинова Надежда Николаевна
- ЛР исследование магнитного поля соленоида
- ЛР кольца Ньютона
- ЛР Проверка законов теплового излучения
- Определение горизонтальнойсоставляющей напряженности магнитного поля земли 1
- Определение горизонтальнойсоставляющей напряженности магнитного поля земли 2
- Определение горизонтальнойсоставляющей напряженности магнитного поля земли 3
- Определение горизонтальнойсоставляющей напряженности магнитного поля земли 4
- Определение периода релаксационных колебаний при помощи электронного осцил...
- Определение периода релаксационных колебаний при помощи электронного осцил...
- Определение электроемкости конденсатора с помощью баллистического гальваном...
- Определение электроемкости конденсатора с помощью баллистического гальваном...

ОТВЕТЫ -->>СКАЧАТЬ https://yadi.sk/d/PgjdK_eMGWoIJQ

Лабораторная работа № 5

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИСТЕРЕЗИСА ФЕРРОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы: построить основную кривую намагничивания, определить работу перемагничивания и коэрцитивную силу.

Теоретические сведения

Все вещества обладают магнитными свойствами, т. е. являются *магнетиками*. Магнитные свойства веществ определяются величиной и ориентацией магнитных моментов молекул, ионов или атомов.

Магнитный момент **p** плоского контура площадью S, по которому течет ток I, определяется по формуле

$$\mathbf{p} = IS\mathbf{n}, \qquad (1)$$

где **n** – единичная нормаль, направление которой определяется по правилу правого винта.

В магнитном поле с индукцией **B** на замкнутый контур с током действует момент сил

$$M = \left|\mathbf{p}\times\mathbf{B}\right| = pB\sin(\widehat{\mathbf{pB}}), \qquad (2)$$

который стремится повернуть контур так, чтобы направления векторов **p** и **B** совпадали.

Контур с током создает также собственное магнитное поле с индукцией $\mathbf{B}_I$, совпадающее по направлению с магнитным моментом **p** контура. В устойчивом состоянии контура, когда $\mathbf{M} = 0$, вектор индукции

$$\mathbf{B}' = \mathbf{B} + \mathbf{B}_I$$

в любой точке плоскости внутри контура всегда больше вектора индукции **B** внешнего магнитного поля. Увеличение индукции **B** внутри контура с током в магнитном поле качественно объясняет увеличение индукции в ферромагнетике, помещенном во внешнее магнитное поле.

Намагничивание вещества объясняется наличием у составляющих его атомов, молекул, ионов микроскопических магнитных мо-

ментов: электронного орбитального $\mathbf{p}_l$ и электронного собственного (спинового) $\mathbf{p}_s$.

Электронным орбитальным магнитным моментом обладает электрон, движущийся вокруг ядра атома (рис. 1). Такой электрон подобен плоской круговой рамке с током $I = e\nu$, имеющей магнитный момент

$$\mathbf{p}_l = IS\mathbf{n} = e\nu\pi r^2\mathbf{n},$$

где e – заряд электрона; ν – частота его вращения, r – радиус круговой орбиты.

Направление магнитного момента $\mathbf{p}_l$ противоположно направлению механического момента количества движения (рис. 2)

$$\mathbf{L} = m_e\mathbf{r}\times\mathbf{V},$$

где m_e – масса электрона.

Векторы $\mathbf{p}_l$ и $\mathbf{L}$ связаны соотношением

$$\mathbf{p}_l = \frac{-e}{2m_e}\mathbf{L}.$$

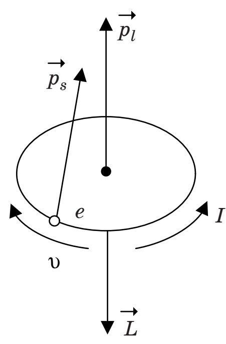


Рис. 1

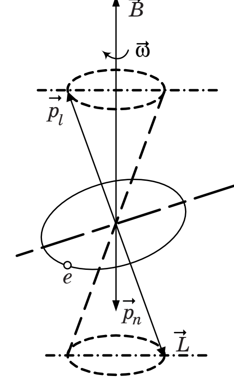


Рис. 2

Спиновый магнитный момент $\mathbf{p}_s$ (см. рис. 1) является неотъемлемым свойством электрона. Единицей магнитного момента является магнетон Бора

$$\mu_Б = \frac{e\hbar}{2m_e} = 9{,}27\cdot10^{-24}\ \text{А}\cdot\text{м}^2,$$

где $\hbar$ – постоянная Планка.

При отсутствии внешнего магнитного поля приближенно можно считать, что магнитный момент атома

$$\mathbf{p}_{at} = \sum_{i=1}^{Z} \mathbf{p}_{li} + \sum_{i=1}^{Z} \mathbf{p}_{si}, \tag{3}$$

где Z – число электронов в атоме.

Во внешнем магнитном поле на электрон атома, как на замкнутый контур с током, действует момент сил. Под действием этого момента сил электрон, подобно механическому волчку, будет совершать прецессию, при которой векторы $\mathbf{p}_l$ и $\mathbf{L}$ описывают с постоянной угловой скоростью ω конус вокруг направления поля $\mathbf{B}$ (см. рис. 2). Это дополнительное движение электрона приводит к появлению у него магнитного момента прецессии $\mathbf{p}_n$, направленного против магнитного поля $\mathbf{B}$. Это явление носит название *диамагнитного эффекта*.

При наличии внешнего магнитного поля магнитный момент атома

$$\mathbf{p}_{at} = \sum_{i=1}^{Z} \mathbf{p}_{li} + \sum_{i=1}^{Z} \mathbf{p}_{si} + \sum_{i=1}^{Z} \mathbf{p}_{ni}. \tag{4}$$

Магнитный момент молекулы

$$\mathbf{p}_{\text{мол}} = \sum_{k=1}^{N} \mathbf{p}_{atk},$$

где N – число атомов в молекуле.

Намагниченность $\mathbf{J}$ равна магнитному моменту единицы объема магнетика

$$\mathbf{J} = \frac{\sum \mathbf{p}_{\text{мол}}}{\Delta V}, \tag{5}$$

где ΔV – малый объем магнетика; $\sum \mathbf{p}_{\text{мол}}$ – сумма магнитных моментов всех молекул в объеме ΔV.

Намагниченность $\mathbf{J}$ связана с напряженностью магнитного поля

$$\mathbf{J} = \chi \mathbf{H}, \tag{6}$$

где χ – коэффициент пропорциональности, называемый *магнитной восприимчивостью* вещества.

Магнитные свойства вещества характеризуются также *магнитной проницаемостью* μ. Величины χ и μ связаны соотношением

$$\mu = 1 + \chi. \tag{7}$$

В зависимости от знака и величины магнитной восприимчивости все вещества делятся на три группы.

1. Диамагнетики – вещества (например, инертные газы), у которых при отсутствии внешнего магнитного поля орбитальные $\mathbf{p}_l$ и спиновые $\mathbf{p}_s$ моменты атомов или молекул скомпенсированы.

Во внешнем магнитном поле в результате прецессии появляются индуцированные магнитные моменты

$$\mathbf{p}_{at} = \sum \mathbf{p}_n,$$

направленные против поля **B,** а магнитная восприимчивость отрицательна $\chi = -(10^{-6}–10^{-8})$.

2. Парамагнетики – вещества, у которых при отсутствии внешнего поля **B** $\mathbf{p}_{at} \neq 0$ или $\mathbf{p}_{\text{мол}} \neq 0$, а $\mathbf{J} = 0$ вследствие хаотической ориентации магнитных моментов $\mathbf{p}_{at}$ или $\mathbf{p}_{\text{мол}}$.

Во внешнем магнитном поле **B** под действием вращающего момента сил магнитные моменты ($\mathbf{p}_{at}$ и $\mathbf{p}_{\text{мол}}$) вещества стремятся повернуться в направлении поля, в результате чего $J > 0$ и $\chi > 0$, $\chi = (10^{-4}–10^{-6})$.

3. Ферромагнетики – это кристаллические вещества, у которых магнитные моменты отдельных ионов $\mathbf{p}_и \neq 0$. У ферритов элементарную ячейку кристалла образуют ионы различного типа, у ферромагнетиков – одного типа. Как показали опыты Эйнштейна и Гааза, а также опыты Н. Ф. Иоффе и П. Л. Капицы, магнитный момент иона ферромагнетика обусловлен упорядоченной ориентацией спиновых магнитных моментов.

Часть ферромагнетика, в которой все магнитные моменты при отсутствии внешнего поля устанавливаются в одном направлении за счет обменного взаимодействия, называется *доменом* (рис. 3, *а*). Домен обладает магнитным моментом $\mathbf{p}_д$. Размеры доменов составляют $(10^{-6}–10^{-8})$ м.

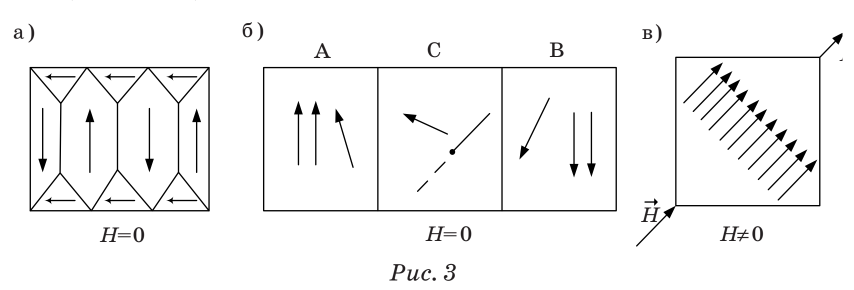


Рис. 3

Между доменами *A* и *B* имеются переходные слои *C* (рис. 3, *б*) шириной $(10^{-8}–10^{-9})$ м. Внутри переходного слоя магнитные спи-

новые моменты ионов поворачиваются до тех пор, пока не примут нужного направления.

При отсутствии внешнего магнитного поля магнитный момент ферромагнетика

$$\mathbf{p} = \sum \mathbf{p}_{д} = 0.$$

Во внешнем магнитном поле переходные слои разрушаются, магнитные моменты отдельных доменов поворачиваются в направлении магнитного поля (рис. 3, *в*).

Зависимость намагниченности J магнетиков от напряженности *H* внешнего магнитного поля изображена на рис. 4. Кривая *J(H)* носит название *основной кривой намагничивания*.

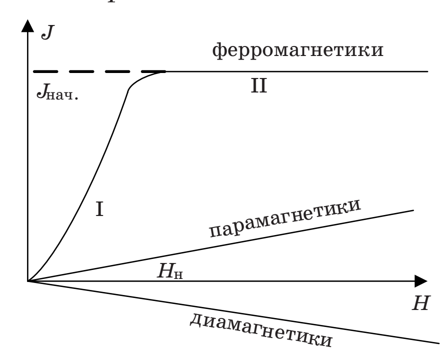


Рис. 4

Нелинейная область I отражает процесс ориентации доменов в ферромагнетиках в направлении внешнего поля при возрастании напряженности *H*. В сильных полях (область II) наступает магнитное насыщение, и намагниченность практически не зависит от напряженности поля *H*.

Для пара- и диамагнетиков зависимость *J(H)* – линейная.

У ферромагнетиков и ферритов имеет место *магнитный гистерезис*, в котором проявляется зависимость намагниченности от предшествующего состояния. При циклических изменениях величины и направления напряженности внешнего поля *H* эта зависимость характеризуется кривой, называемой *петлей гистерезиса* (рис. 5, кривые *1*, *2*).

Если ферромагнетик был первоначально размагничен ($B = 0$, $H = 0$), то его намагничивание происходит по *основной кривой намагничивания OA*.

В точке A напряженность $H_н$ и индукция $B_н$ соответствуют состоянию *магнитного насыщения*.

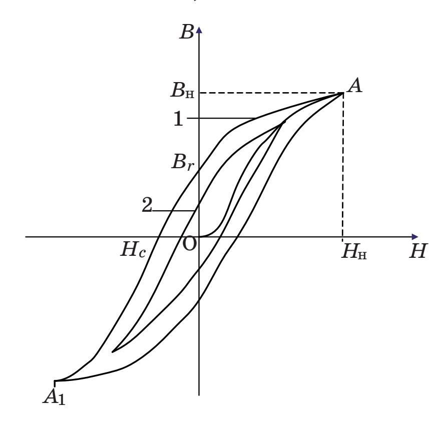


Рис. 5

Размагничивание происходит по кривой *1* (A–B_r–H_c–A_1). При $H = 0$ намагниченность ферромагнетика не исчезает $B = B_r$. Это состояние называется *остаточным магнетизмом*.

Напряженность ($-H_c$), при которой исчезает остаточная намагниченность ($B = 0$, $H = -H_c$), принято называть *коэрцитивной силой*.

Если при циклическом намагничивании $H_{max} \geq H_н$, то мы получаем максимальную петлю гистерезиса *1*. Кривая *2* – это частный цикл, когда $H_{max} < H_н$. Максимумы B и H частных циклов лежат на основной кривой намагничивания OA.

Условно принято считать ферромагнетики *жесткими*, если $H_c \geq 100$ А/м. Если $H_c < 100$ А/м, ферромагнетики считаются *мягкими*.

Магнитная проницаемость μ ферромагнетика зависит от напряженности магнитного поля H (рис. 6). Магнитная проницаемость $\mu = B/\mu_0 H$ достигает максимума, когда напряженность H внешнего поля становится равной напряженности $H_н$. При этом домены максимально ориентируются по направлению поля (рис. 3, *в*) и достигается магнитное насыщение образца.

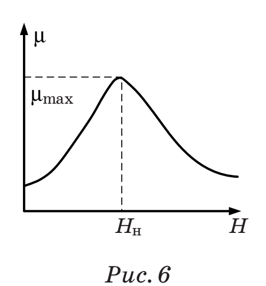


Рис. 6

В табл. 1 приведены характеристики некоторых ферромагнетиков и ферритов.

Таблица 1

Вещество	μ_{max}	$H_н$, А/м	B_r, Тл	$B_н$, Тл
Железо техническое	5000	80	0,06	2,1
Супермаллой	1000000	0,16	–	0,79
Сталь кобальтовая	–	2000	0,9	1,6
Феррит никель-цинковый	7500	4	–	0,2

Приборы и оборудование

Принципиальная схема установки приведена на рис. 7.

Исследуемый образец выполнен в виде тороидального трансформатора *T*, первичная обмотка которого содержит N_1 витков, а вторичная – N_2 витков.

Вторичная обмотка трансформатора последовательно соединена с конденсатором *C* через сопротивление R_2.

С выхода звукового генератора *PQ* через сопротивление R_1 подается напряжение на первичную обмотку трансформатора Т.

С сопротивления R_1 на вход *X* горизонтального отклонения осциллографа *PO* подается напряжение U_x, пропорциональное напряженности магнитного поля *H*.

С конденсатора *C* на вертикальный вход *Y* подается напряжение U_y, пропорциональное индукции магнитного поля *B*.

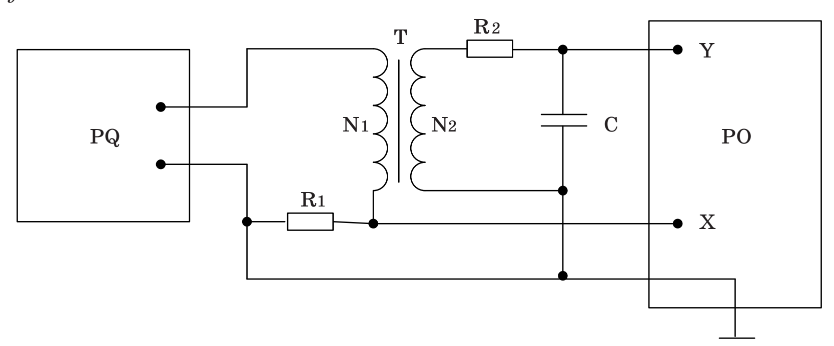


Рис. 7

На рисунке: PQ – звуковой генератор; PO – электронный осциллограф; Т – тороидальный трансформатор (N_1 = 100 витков,

$N_2 = 100$ витков, $r_1 = 4{,}5$мм, $r_2 = 9$мм, $b = 10$мм); $R_1 = 51$ Ом; $R_2 = 4{,}3$ кОм;$C = 0{,}224$ мкФ

Метод измерений

При радиусе витка обмотки $r_В \ll r_Т$ радиуса тороида напряженность H в тороиде

$$H = \frac{N_1}{2\pi r_Т} I_1, \tag{8}$$

где $r_Т = (r_1 + r_2)/2$; r_1 и r_2 – внутренний и внешний радиусы тороида.

Так как падение напряжения на сопротивлении R_1 равно $U_x = I_1 R_1$, то с учетом (8)

$$U_x = \frac{2\pi r_Т R_1 H}{N_1}. \tag{9}$$

U_x определяется по коэффициенту k_x отклонения электронного луча по горизонтальной оси

$$U_x = k_x x. \tag{10}$$

С учетом (9) и (10) выражение для H может быть записано в виде

$$H = \frac{N_1 k_x x}{2\pi r_Т R_1} = \alpha k_x x. \tag{11}$$

По закону Фарадея ЭДС индукции во вторичной обмотке

$$\varepsilon_i = -N_2 \frac{d\Phi}{dt} = -N_2 \frac{dB}{dt} S_2, \tag{12}$$

где Φ – поток вектора магнитной индукции через один виток; S_2 – площадь поперечного сечения тороида, $S_2 = (r_2 - r_1)b$; b – высота тороида.

По закону Ома для вторичной обмотки получаем

$$\varepsilon_i = U_c + I_2 R_2 + L_2 \frac{dI_2}{dt}, \tag{13}$$

где U_c – напряженность на конденсаторе; I_2 – ток во вторичной обмотке; L_2 – индуктивность вторичной обмотки.

Так как L_2 очень мала, а $I_2R_2 >> U_c$, уравнение (13) может быть записано с учетом (12) в следующем виде:

$$-N_2\frac{dB}{dt}S_2 = I_2R_2.$$

Отсюда

$$I_2 = -\frac{N_2S_2}{R_2}\frac{dB}{dt}. \qquad (14)$$

Учитывая (14), найдем напряжение U_y, равное напряжению на конденсаторе:

$$U_y = \frac{Q}{C} = \frac{\int_0^t I_2dt}{C} = -\frac{N_2S_2}{R_2C}\int_0^B dB = -\frac{N_2S_2B}{R_2C}, \qquad (15)$$

где Q – заряд на обкладках конденсатора.

Если известен коэффициент отклонения луча k_y по вертикали, то

$$U_y = k_y y. \qquad (16)$$

Из выражений (15) и (16) получаем

$$B = \frac{R_2Ck_y y}{N_2S_2} = \beta k_y y. \qquad (17)$$

Подав одновременно напряжение U_y и U_x на вертикально и горизонтально отклоняющие пластины, получим на экране осциллографа петлю гистерезиса.

По площади петли можно найти работу перемагничивания, отнесенную к единице объема. Малое изменение объемной плотности энергии магнитного поля

$$w_H = \frac{\mu\mu_0H^2}{2}$$

в цикле перемагничивания определяется по формуле

$$dw_H = Hd(\mu\mu_0H) = HdB. \qquad (18)$$

Работа dA_n расходуется на изменение внутренней энергии в единице объема ферромагнетика. За полный цикл перемагничивания

$$dA_n = \oint HdB. \tag{19}$$

Учитывая (11) и (17), получаем работу перемагничивания за один цикл

$$A_n = \frac{N_1 k_x R_2 C k_y}{2\pi r_{\text{Т}} R_1 N_2 S_2} S_n, \tag{20}$$

где S_n – площадь петли гистерезиса.

Порядок выполнения работы

Ознакомиться с работой звукового генератора и электронного осциллографа в режиме измерения фигур Лиссажу.

Задание 1. Определение основной кривой намагничивания.

1. Установить и соединить приборы в соответствии со схемой на рис. 7.

Установить параметры выходного сигнала звукового генератора:

– частота 2 кГц;

– выходное напряжение 0 В.

Отключить развертку на осциллографе.

2. Включить лабораторный стенд и приборы. Установить луч в центре экрана осциллографа.

Регулируя величину выходного напряжения на звуковом генераторе и усиление по оси y, установить максимальную петлю гистерезиса в пределах экрана, соответствующую магнитному насыщению образца.

Уменьшая величину выходного напряжения, получить семейство петель гистерезиса (не менее 5 петель).

Для каждой петли снять координаты x и y ее вершины и записать их в табл. 2.

3. По формулам (11) и (17) вычислить значения напряженности H и индукции B вершин каждой петли гистерезиса и записать их в табл. 2.

Оценить погрешности измерения H и B, которые определяются приборными погрешностями коэффициентов отклонения электронного луча k_x, k_y и погрешностями визуального отсчета вели-

чин x и y на экране осциллографа ($\Delta k_x = \pm 0{,}07 k_x$, $\Delta k_y = \pm 0{,}07 k_y$, $\Delta x = \Delta y = 0{,}5$мм).

Значения $\pm \Delta H$ и $\pm \Delta B$ наносятся на кривую $B(H)$, а также записываются в табл. 2.

Таблица 2

№ петли	x, мм	y, мм	U_x, В	U_y, В	H, А/м	ΔH, А/м	B, Тл	ΔB, Тл

Задание 2. Оценка работы перемагничивания A_n за один цикл.

Получить максимальную петлю гистерезиса и зарисовать на кальке в координатах x–y .

Скопировать эту петлю на миллиметровую бумагу и измерить ее площадь.

Определить работу перемагничивания за один цикл по формуле (20).

Задание 3. Определение коэрцитивной силы.

По максимальной петле гистерезиса найти координату x_c, соответствующую коэрцитивной силе H_c (рис. 5).

По формуле (11) рассчитать H_c.

По полученному значению определить группу ферромагнетика (мягкий или жесткий).

Оценить погрешность измерения коэрцитивной силы.

Контрольные вопросы

1. Как ведет себя контур с током в магнитном поле?
2. Каковы свойства парамагнетиков, диамагнетиков, ферромагнетиков?
3. Какова причина спонтанной намагниченности доменов в ферромагнетиках?
4. Как ведут себя домены при увеличении напряженности магнитного поля? Что означает насыщение ферромагнетиков?
5. В чем заключается явление магнитного гистерезиса?